

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 56 963.0

**Anmeldetag:** 05. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Hilti Aktiengesellschaft, Schaan/LI

**Bezeichnung:** Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln und deren Verwendung

**IPC:** C 01 B, C 09 K

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 30. April 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag



Joost

# **TER MEER STEINMEISTER & PARTNER GbR**

**PATENTANWÄLTE - EUROPEAN PATENT ATTORNEYS**

**Dr. Nicolaus ter Meer, Dipl.-Chem.  
Peter Urner, Dipl.-Phys.  
Gebhard Merkle, Dipl.-Ing. (FH)  
Bernhard P. Wagner, Dipl.-Phys.  
Mauerkircherstrasse 45  
D-81679 MÜNCHEN**

**Helmut Steinmeister, Dipl.-Ing.  
Manfred Wiebusch  
Artur-Ladebeck-Strasse 51  
D-33617 BIELEFELD**

**Case: C085 Graphitexpansion**

**05.12.2002**

**tM/hg**

**Hilti Aktiengesellschaft  
Feldkircherstrasse 100  
9494 Schaan  
Liechtenstein**

---

**Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch  
expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln und deren Verwendung**

---

1

**Beschreibung**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Expansioneigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln und die Verwendung der in dieser Weise erhältlichen Schwefelsäure-Graphitpartikel als intumeszierendes Brandschutzadditiv für die Herstellung von Flammschutz-Zusammensetzungen zum Beispiel für Brandschutz-Abdichtungen von Durchbrüchen, Durchführungen und sonstigen Öffnungen in Wänden, Böden und/oder Decken von Gebäuden.

10

Thermisch expandierbare Schwefelsäure-Graphitpartikel beziehungsweise teilchenförmiger, thermisch expandierbarer Schwefelsäure-Graphit ist auch als Blähgraphit bekannt und im Handel erhältlich. Es handelt sich dabei um Teilchen, die zwischen den Gitterschichten des kristallinen Graphits eingelagerte Fremdbestandteile (Intercalate) enthalten. Solche expandierbaren Graphit-Intercalationsverbindungen werden üblicherweise dadurch hergestellt, daß man Graphitteilchen in einer Lösung dispergiert, die ein Oxidationsmittel und die einzulagernde Gastverbindung enthält. Üblicherweise angewandte Oxidationsmittel sind Salpetersäure, Kaliumchlorat, Chromsäure, Kaliumpermanganat und dergleichen. Als einzulagernde Verbindung wird bei Schwefelsäure-Graphitpartikeln konzentrierte Schwefelsäure eingesetzt.

20

Ein Verfahren zur Herstellung solcher Schwefelsäure-Graphitpartikel ist beispielsweise aus der US-Patentschrift 4,091,083 bekannt, welches darin besteht, daß man kristalline Graphitteilchen in Schwefelsäure dispergiert, die Mischung unter Zugabe von Wasserstoffperoxid röhrt und das Rühren so lange fortsetzt, bis die Schwefelsäure in den Graphit eingelagert worden ist. Anschließend wird die überschüssige Säure abgetrennt, die in dem Festprodukt vorhandene restliche Säure durch mehrfaches Waschen mit Wasser entfernt und das Material getrocknet.

30

Die Graphit-Intercalationsverbindungen und damit auch Schwefelsäure-Graphitpartikel unterliegen beim Erhitzen auf eine Temperatur oberhalb der sogenannten Onset-Temperatur einer starken Volumenzunahme mit Expansionsfaktoren von mehr als 200, die dadurch verursacht wird, daß die in der Schichtstruktur des Graphits eingelagerte Intercalatverbindung durch das schnelle Erhitzen auf diese Temperatur unter Bildung gasförmiger Stoffe zer-

1 setzt wird, wodurch die Graphitpartikel senkrecht zur Schichtebene expandieren und aufgebläht werden. Dieses Expansionsverhalten wird beispielsweise in intumeszierenden Massen ausgenützt, die insbesondere zur Brand-  
schutz-Abdichtung von Kabeln- und Rohrdurchführungen durch Wände und  
5 Decken von Gebäuden eingesetzt werden. Im Brandfall erfolgt nach dem Erreichen der Onset-Temperatur eine Ausdehnung der Graphitteilchen und damit der die Durchführung abdichtenden intumeszierenden Masse, so daß auch nach dem Abbrennen der durch die Durchführung geführten Kabel-Isolierungen und/oder Kunststoffrohre der Durchbruch des Feuers durch die  
10 Durchführung verhindert beziehungsweise verzögert wird.

Die Onset-Temperatur ist als die Temperatur definiert, bei der der thermische Expansionsprozeß des intumeszierenden Systems, also hier der thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikel beginnt, das heißt die Temperatur zu Beginn des Expansionsvorganges. Die herkömmlichen und im Handel erhältlichen Blähgraphittypen verfügen lediglich über sehr eingeschränkte Onset-Temperaturen von ca. 150°C, ca. 160°C, ca. 200°C. Darüber hinaus sind sie im Hinblick auf ihr Expansionseigenschaften, das heißt also das Expansionsvolumen, die Expansionsgeschwindigkeit im Bereich des Onset, die  
15 Temperaturen bei denen ein Prozentsatz des maximalen Expansionsvolumens erreicht ist und des mittleren Expansionskoeffizienten, festgelegt.  
20

Es besteht jedoch ein starkes Bedürfnis dafür, diese Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Graphitpartikeln gezielt beeinflussen zu können, um eine bessere Anpassung an die bei der speziellen Anwendung anzustrebenden Eigenschaften zu ermöglichen, namentlich bei der Anwendung solcher Graphitpartikel als intumeszierende Brandschutzadditive für die Herstellung von Flammenschutz-Zusammensetzungen. Zu diesem Anwendungszweck wäre es erwünscht, eine größere Variationsbreite der oben angesprochenen Expansionseigenschaften solcher Graphitteilchen gezielt zu ermöglichen.  
25

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht also darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem es möglich wird, in einfacher Weise die Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln gezielt zu beeinflussen, namentlich im Hinblick auf das Expansionsvolumen,  
30 die Expansionsgeschwindigkeit und den mittleren Expansionskoeffizienten.  
35

1 Es hat sich überraschenderweise gezeigt, daß diese Aufgabe dadurch gelöst werden kann, daß durch Waschen der durch Umsetzung von Graphitteilchen mit Schwefelsäure in Gegenwart eines Oxidationsmittels hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel mit einer wässrigen Waschflüssigkeit die bestimmte,  
5 die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindungen enthält, das Expansionsverhalten gezielt beeinflußt werden kann.

Demzufolge wird die oben genannte Aufgabe gelöst durch das Verfahren gemäß Hauptanspruch. Die Unteransprüche betreffen bevorzugte Ausführungsformen dieses Erfindungsgegenstandes sowie die Verwendung der mit Hilfe dieses Verfahrens erhältlichen, thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikel als intumeszierendes Brandschutzadditiv für die Herstellung von Flammenschutz-Zusammensetzungen, insbesondere intumeszierende Massen beispielsweise für Brandschutz-Abdichtungen von Durchbrüchen, Durchführungen und sonstigen Öffnungen in Wänden, Böden und/oder Decken von Gebäuden.

Die vorliegende Erfindung betrifft daher ein Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man die durch Umsetzung von Graphitpartikeln mit Schwefelsäure in Gegenwart eines Oxidationsmittels hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel mit einer die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindungen enthaltenden wässrigen Waschflüssigkeit bis zu einem pH-Wert im Bereich von 2 bis 8, vorzugsweise 3 bis 7, gemessen in der von den gewaschenen Schwefelsäure-Graphitpartikeln abgetrennten Waschflüssigkeit, wäscht und dann trocknet.

Vorzugsweise wendet man bei der Herstellung der Schwefelsäure-Graphitpartikel ein Verhältnis von Schwefelsäure zu Oxidationsmittel im Bereich von 30 200:1 bis 1:100, vorzugsweise im Bereich von 100:1 bis 1:1 an. Als Oxidationsmittel lassen sich neben Wasserstoffperoxid, anorganische Peroxide, Iodate, Bromate, Braunstein, Permanganate, Perchlorate, Cr(IV)-Verbindungen, Peroxodisulfate, Halogene, Salpetersäure, das heißt alle nach dem Stand der Technik gebräuchlichen Oxidationsmittel zur Intercalation von Schwefelsäure und organischen Säuren sowie anorganischen Säuren im Gemisch mit organischen Säuren im Graphit verwenden.

1    Bei der Herstellung der Schwefelsäure-Graphitpartikel kann bei einer Reaktionstemperatur von -10 bis 100°C, vorzugsweise 10 bis 50°C und einer Reaktionszeit von 3 Minuten bis 48 Stunden gearbeitet werden. Der Waschvorgang mit der erfindungsgemäß eingesetzten Waschflüssigkeit erfolgt normalerweise  
5    bei einer Temperatur im Bereich von 0 bis 90°C und vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 10 bis 50°C bei einer Verweilzeit der Schwefelsäure-Graphitpartikel in der Waschflüssigkeit von 10 Sekunden bis 1 Stunde, vorzugsweise von 1 Minute bis 15 Minuten.

10   Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält die Waschflüssigkeit als die Expansionseigenschaften der Schwefelsäure-Graphitpartikel beeinflussende Verbindung mindestens einen Vertreter der Sulfate, Hydrogensulfate, Sulfite, Hydrogensulfite, Nitrate, Phosphate, Hydrogenphosphate, Dihydrogenphosphate und Acetate von Natrium, Kalium, Magnesium, Mangan, Eisen, Kupfer, Zink und Aluminium; Wasserstoffperoxid, Iodsäure, Bromsäure, Permangansäure, Perchlorsäure und Peroxodischwefelsäure; Peroxide, Iodate, Bromate, Permanganate, Perchlorate und Peroxodisulfate von Natrium und Kalium; Natriumsalze von Benzolsulfonsäure, Benzol-1,3-disulfonsäure, C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylbenzolsulfonsäuren, Naphthalinsulfonsäure, aromatischen und aliphatischen Aminosulfonsäuren und C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylsulfonsäuren; Natrium-C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-alkylsulfate; Natriumsalze von gesättigten oder ungesättigten, aliphatischen C<sub>2</sub>-C<sub>30</sub>-Carbonsäuren; und gesättigte oder ungesättigte, aliphatische, quartäre Ammoniumsalze der Formel N(R)<sub>4</sub><sup>+</sup> X<sup>-</sup>, in der R unabhängig voneinander C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylgruppen und X<sup>-</sup> ein Anion bedeuten, umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form.

25   Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält die bei dem Verfahren eingesetzte Waschflüssigkeit die die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindung in einer Konzentration von 10<sup>-5</sup> bis 10 Mol/l, vorzugsweise 10<sup>-4</sup> bis 1 Mol/l.

30   Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung enthält die Waschflüssigkeit als das Expansionsvolumen [%·mg<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erhöhende Verbindung mindesten einen Vertreter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, NaBrO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COONa, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, Natrium-1-butansulfonat, Natrium-1-decansulfonat, Natrium-dodecylbenzolsulfonat, Toluolsulfonsäure-

1 Natriumsalz, Tetraethylammoniumbromid, Decyl-trimethylammoniumbromid,  
Dodecyl-trimethylammoniumbromid, Tetradecyl-trimethylammoniumbromid,  
Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natriumacetat, Natriumpropionat, Na-  
triumstearat, Natriumoleat und Natriumbenzoat umfassenden Gruppe in ge-  
5 löster oder dispergierter Form.

Einer weiteren Ausführungsform der Erfindung zufolge enthält die Waschflüs-  
sigkeit als die Expansionsgeschwindigkeit [%•°C<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Gra-  
phitpartikel im Bereich Onset erhöhende Verbindung mindesten einen Vertre-  
10 ter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>,  
KMnO<sub>4</sub>, NaBrO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat in einer  
Konzentration von weniger als 0,0125 Mol/l. Natrium-1-butansulfonat, Natri-  
um-1-decansulfonat, Natrium-dodecylbenzolsulfonat, Toluolsulfonsäure-Na-  
triumsalz, Tetraethylammoniumbromid, Dodecyl-trimethylammoniumbromid,  
15 Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natriumacetat, Natriumpropionat, Na-  
triumstearat, Natriumoleat und Natriumbenzoat umfassenden Gruppe in ge-  
löster oder dispergierter Form.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung enthält die Waschflüs-  
sigkeit als den mittleren Expansionskoeffizienten [K<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Gra-  
phitpartikel erhöhende Verbindung mindesten einen Vertreter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  
20 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, NaBrO<sub>3</sub>,  
NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat, Natrium-1-butansulfonat, Natrium-1-de-  
cansulfonat, Toluolsulfonsäure-Natriumsalz, Tetraethylammoniumbromid,  
25 Decyl-trimethylammoniumbromid, Dodecyl-trimethylammoniumbromid, Tetra-  
decyl-triethylammoniumbromid, Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natri-  
umacetat, Natriumpropionat, Natriumstearat, Natriumoleat und Natriumben-  
zoat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form.

30 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthält  
die Waschflüssigkeit als das Expansionsvolumen [%•mg<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-  
Graphitpartikel erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der  
MnSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz,  
Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz und Natriumcaprylat umfassen-  
35 den Gruppe in gelöster oder dispergierter Form.

1 Einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zufolge enthält die Waschflüssigkeit als die Expansionsgeschwindigkeit [%·°C<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel im Bereich Onset erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der FeSO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat in einer Konzentration von  
5 ≥ 0,0125 Mol/l, Decyl-trimethylammoniumbromid, Tetradecyl-trimethylammoniumbromid, Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz, Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, und Natriumcaprylat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form.

10 Einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gemäß enthält die Waschflüssigkeit als den mittleren Expansionskoeffizienten [K<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der FeSO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz, Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, Natrium-dodecylbenzolsulfonat und Natriumcaprylat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei den mit Schwefelsäure in Gegenwart eines Oxidationsmittels umgesetzten Graphitpartikeln um vermahlenen kristallinen Graphit in Form von Teilchen mit einer Teilchengröße von 0,05 mm bis 1 mm, vorzugsweise 0,075 mm bis 0,7 mm, wobei vorzugsweise die Teilchengrößenverteilung so ist, daß 80% der eingesetzten Graphitpartikel eine Teilchengröße von größer als 0,3 mm aufweisen, weil mit zunehmender Teilchengröße die Expansionseigenschaften des Graphits besser werden.

Mit Vorteil erfolgt die Umsetzung mit Schwefelsäure unter Anwendung eines Gewichtsverhältnises von 100 bis 300 Gewichtsteilen 95 bis 97%-iger, vorzugsweise 96%-iger Schwefelsäure pro 100 Gewichtsteile der Graphitpartikel,  
30 wobei als Oxidationsmittel vorzugsweise Wasserstoffperoxid oder Salpetersäure eingesetzt wird. Nach der Umsetzung beträgt der pH-Wert der Graphitpartikel in Abhängigkeit von der angewandten Schwefelsäurekonzentration etwa - 7. Erfindungsgemäß wird mit der die Expansionseigenschaften beeinflussten Verbindungen enthaltenden wässrigen Waschflüssigkeit bis zu einem pH-  
35 Wert im Bereich von 2 bis 8, vorzugsweise 3 bis 7 und noch bevorzugter 3 bis 4 gewaschen. Die Trocknung erfolgt vorzugsweise bei einer Temperatur im Be-

1 reich von 50°C bis 120°C bis zu einem Restfeuchtegehalt der Graphitpartikel  
von vorzugsweise ≤ 1,5%.

5 Die Messung der Expansionseigenschaften der erfindungsgemäß herstellten  
Schwefelsäure-Graphitpartikel erfolgt mit Hilfe der thermomechanischen Ana-  
lyse (TMA). Mit der thermomechanischen Analyse (TMA) werden Dimensions-  
änderungen der Schwefelsäure-Graphitpartikel als Funktion der Temperatur  
und der Zeit gemessen. Hierzu wird die Probe auf einen Probenträger aufge-  
bracht und die Dimensionsänderung der Probe mit Hilfe einer Messsonde in  
10 Abhängigkeit von der Aufheiztemperatur und der Aufheizzeit gemessen und  
aufgezeichnet. Hierzu wird die pulverförmige Probe aus den Schwefelsäure-  
Graphitpartikeln in einen Korundiegel eingebettet, der mit einem Stahliegel  
abgedeckt wird. Dieser Stahliegel gewährleistet bei der Ausdehnung der Pro-  
be die ruckfreie Übertragung der Dimensionsänderung der Probe auf die  
15 Messsonde, welche mit der Oberseite des Stahliegels in mechanischem Kon-  
takt steht und mit einer einstellbaren Auflast beaufschlagt werden kann.

Bei der Durchführung der Bestimmung des Expansionsverhaltens unter An-  
wendung dieser Meßeinrichtung wurden die folgenden Bedingungen eingehal-  
ten:

20 Temperaturprogramm: Dynamischer Modus (mit vorgeschalteter iso-  
thermer Phase während 5 Minuten bei 25°C)

Aufheizrate: 10°C / min

25 Temperaturbereich: 25°C bis 500°C

Analysengas: Synthetische Luft

Flußrate: 50 ml / min

Auflast: 0,06 N

30 Probengefäß: 150 µl Korundiegel + 150µl Stahliegel (als  
Deckel

Als Ergebnis der in dieser Weise durchgeführten thermomechanischen Analy-  
se erhält man die in der

35 **Figur 1** der beigefügten Zeichnung dargestellte TMA-Kurve  
einer Graphitintercalationsverbindung.

1 Wie in dieser Figur 1 dargestellt ist, ist der Onset der Schwefelsäure-Graphitpartikel mathematisch als Schnittpunkt der Basislinie vor der Längenänderung der Probe und der Wendetangente der Expansionskurve definiert.

5 Die Expansionsgeschwindigkeit des untersuchten intumeszierenden Materials im Bereich des Onset ist gleich der Steigung dieser Wendetangente. Die Einheit der Expansionsgeschwindigkeit ist demzufolge [% · °C<sup>-1</sup>].

Das Expansionsvolumen entspricht der horizontalen Stufe zwischen der Basislinie und dem Maximum der Kurve. Es gibt die Ausdehnung der Substanz [%] beziehungsweise der Ausgangslänge  $L_0$  wieder. Da bei diesen Messungen das Volumen von der eingewogenen Substanzmenge abhängig ist, wird das Expansionsvolumen auf die Einwaage normiert. Als Einheit resultiert die Ausdehnung in [% · mg<sup>-1</sup>]. Die Werte T<sub>25</sub>, T<sub>50</sub>, T<sub>75</sub> und T<sub>100</sub> geben die Temperaturen in [°C] wieder, bei denen 25%, 50%, 75% beziehungsweise 100% des maximalen Volumens erreicht worden ist.

Wie aus der Figur 1 ersichtlich ist, gibt die Steigung der Wendetangente lediglich Auskunft über die Anfangsgeschwindigkeit der Expansion. Um das gesamte Expansionsverhalten darstellen zu können, eignet sich die Betrachtung des mittleren Expansionskoeffizienten  $\bar{\alpha}$  in [K<sup>-1</sup>] zwischen dem Onset und dem Maximum der Kurve (=T<sub>100</sub>). Der mittlere Expansionskoeffizient ist definiert als

25

$$\bar{\alpha} = L_0^{-1} \cdot \Delta L \cdot \Delta T^{-1}$$

worin  $\Delta L$  für die durch die Temperaturänderung  $\Delta T$  hervorgerufene Längenänderung der Probe steht.

Sämtliche Messungen erfolgten mit Graphitproben vergleichbarer Partikelgrößenverteilung im Bereich von 250 bis 400  $\mu\text{m}$ . Dies wurde durch Sieben der jeweiligen Graphittypen gewährleistet.

35

In den nachfolgenden Beispielen sind die Expansionsparameter der hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel als das normierte Expansionsvolumen,

1 die Expansionsgeschwindigkeit im Bereich des Onset, mittlerer Expansionskoeffizient sowie die Temperaturen T<sub>25</sub>, T<sub>50</sub>, T<sub>75</sub> und T<sub>100</sub> angegeben. Teilweise wird bei den Messungen eine mehrstufige Expansion beobachtet. Für diese Fälle sind jeweils die Expansionsgeschwindigkeiten im Bereich Onset-Temperaturen 1 und 2 (Onset 1 beziehungsweise Onset 2), sowie die Expansionsgeschwindigkeit zwischen den Onsets angegeben.

5

Die folgenden Beispiele dienen der weiteren Erläuterung der Erfindung.

#### 10 BEISPIEL 1

In der folgenden Tabelle sind die Expansionparameter zweier typischer kommerzieller Blähgraphittypen aufgeführt.

15

**Tabelle 1**

	Schwefelsäure-graphit	Schwefelsäure/Salpetersäure-graphit
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	245	192
T <sub>25</sub> in [°C]	237	219
T <sub>50</sub> in [°C]	255	243
T <sub>75</sub> in [°C]	278	252
T <sub>100</sub> in [°C]	361	268
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	8,15	12,74
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	3,39
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	29,47
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,089	0,112

#### 30 BEISPIEL 2

Zur Verdeutlichung der erfindungsgemäß erreichten Einstellbarkeit des Expansionsverhaltens wurden zum Vergleich Schwefelsäure-Graphitpartikel wie folgt hergestellt, und lediglich mit Wasser als Waschflüssigkeit gewaschen.

1 Die in diesem Beispiel und den folgenden Beispielen eingesetzten Graphitpartikel besaßen eine Teilchengröße im Bereich von 0,05 mm bis 1 mm, wobei 80% der Partikel eine Teilchengröße von größer als 0,3 mm aufwiesen.

5 5,0 g (0,42 Mol) Graphitpartikel werden in einem 100 ml Rundkolben vorgelegt, mit 1,0 ml (0,01 Mol) 30%-igem Wasserstoffperoxid und 7,5 ml Schwefelsäure (95% bis 97%) versetzt und bei Raumtemperatur während 19 Stunden gerührt. Anschließend wird mit Wasser bis zu einem pH-Wert von 3 bis 4 gewaschen. Die anschließende Trocknung der Schwefelsäure-Graphitpartikel 10 erfolgt bei 60°C im Trockenschrank.

Andererseits erfolgt das Waschen der erhaltenen rohen Schwefelsäure-Graphitpartikel erfahrungsgemäß unter Verwendung einer Waschflüssigkeit, welche in der nachfolgenden Tabelle 2 angegebene Metallsulfate als die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindung in einer Konzentration von jeweils 0,125 M enthält, ebenfalls bis zu einem pH-Wert von 3 bis 4.

Die Eigenschaften der in dieser Weise hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt.

20

**Tabelle 2**

	Vergleich Wasser als Waschflüssig- keit	Wässrige 0,125 M-Lösungen der Sulfate von:				
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	
25	Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	221	338	313	299	103
	T <sub>25</sub> in [°C]	236	232	239	232	449
	T <sub>50</sub> in [°C]	257	254	262	248	459
	T <sub>75</sub> in [°C]	287	285	295	266	468
	T <sub>100</sub> in [°C]	369	379	392	340	500
30	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	2,33	30,21	21,68	28,24	17,62
	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,03	-	-	-	-
	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	14,88	-	-	-	-
35	Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,071	0,116	0,102	0,135	0,089

1

**Tabell 2 (Fortsetzung)**

	Vergleich Wasser als Waschflüssig- keit	Wässrige 0,125 M-Lösungen der Sulfate von:				
		Fe <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
5	Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	221	81	276	271	232
	T <sub>25</sub> in [°C]	236	383	246	246	241
	T <sub>50</sub> in [°C]	257	416	259	261	257
	T <sub>75</sub> in [°C]	287	442	284	290	280
	T <sub>100</sub> in [°C]	369	493	366	366	360
10	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	2,33	0,39	29,65	30,82	20,30
	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,03	1,89	-	-	-
	Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	14,88	5,24	-	-	-
15	Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,071	0,013	0,116	0,112	0,096

Aus der obigen Tabelle 2 läßt sich entnehmen, daß die Expansionseigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel in Abhängigkeit von der Art der in der Waschlösung eingesetzten Metallsulfate gezielt variiert werden können und zwar in Abhängigkeit von den Metallkationen in unterschiedlicher Richtung. So führt die Verwendung von Eisen(II)-sulfat im Vergleich zu dem lediglich mit Wasser gewaschenen Schwefelsäure-Graphit zu einer Erniedrigung der Expansionsgeschwindigkeit und des mittleren Expansionskoeffizienten, während sich diese Eigenschaften mit den anderen Sulfaten erhöhen lassen.

### BEISPIEL 3

Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluß der Natriumsulfat-Konzentration in der Waschflüssigkeit auf die Expansionseigenschaften der Schwefelsäure-Graphitpartikel.

Hierzu werden 5,0 g (0,42 Mol) der in den obigen Beispielen eingesetzten Graphitteilchen in einem 100 ml Rundkolben vorgelegt, mit 1,0 ml (0,01 Mol) 30%-igem Wasserstoffperoxid und 7,5 ml Schwefelsäure (95% bis 97%) versetzt und bei Raumtemperatur während 19 Stunden gerührt. Anschließend

1 wird mit einer wässrigen Natriumsulfatlösung in variierenden Konzentrationen von 0,0125 M bis 0,125 M bis zu einem pH-Wert von 3 bis 4 gewaschen. Die anschließende Trocknung der Graphitpartikel erfolgt bei 60°C im Trockenschrank.

5

Die Expansionseigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel sind in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3**

10

	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,125 M)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,0625 M)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,025 M)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,0125 M)
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	338	371	331	336
T <sub>25</sub> in [°C]	232	226	266	264
T <sub>50</sub> in [°C]	254	246	283	279
T <sub>75</sub> in [°C]	285	275	317	312
T <sub>100</sub> in [°C]	379	369	396	391
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	30,21	30,47	36,30	39,77
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	-	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	-	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,116	0,125	0,133	0,134

15

20

25

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, daß durch Variation der Natriumsulfatkonzentration in der Waschflüssigkeit die Expansionseigenschaften, namentlich das Expansionsvolumen, die Expansionsgeschwindigkeit und der mittlere Expansionskoeffizient, gezielt beeinflußt werden können.

30

Aus der obigen Tabelle 3 läßt sich insbesondere erkennen, daß das Expansionsvolumen nahezu unabhängig von der eingesetzten Natriumsulfat-Konzentration ist, wobei sämtliche Konzentrationen zu einer Steigerung des Expansionsvolumens führen. Andererseits nimmt die Expansionsgeschwindigkeit im Bereich des Onsets mit steigender Natriumsulfat-Konzentration ab. Gleichermaßen gilt für den mittleren Expansionkoeffizienten. Damit ist es in Abhängigkeit von der eingesetzten Natriumsulfat-Konzentration aber ohne weiteres mög-

35

1 lich, die Expansionsgeschwindigkeit und den Expansionskoeffizienten unab-  
hängig von dem Expansionsvolumen einzustellen.

#### BEISPIEL 4

5

Bei diesem Beispiel werden die nach der in Beispiel 2 angegebenen Verfah-  
rensweise erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel mit wässrigen Lösungen  
von Oxidationsmitteln gewaschen, wobei deren Konzentration jeweils 0,05 M  
beträgt.

10

Die Eigenschaften der in dieser Weise hergestellten Schwefelsäure-Graphit-  
partikel sind in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengestellt.

**Tabelle 4**

15

	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	KMnO <sub>4</sub>	NaBrO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	297	209	330	153
T <sub>25</sub> in [°C]	244	277	261	219
T <sub>50</sub> in [°C]	265	312	280	308
T <sub>75</sub> in [°C]	302	357	311	365
T <sub>100</sub> in [°C]	365	435	385	430
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	28,53	9,71	33,89	4,62
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	2,12	-	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	7,88	-	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,120	0,061	0,135	0,033

30

Der obigen Tabelle 4 läßt sich entnehmen, daß sich in Abhängigkeit von der Art des eingesetzten Oxidationsmittels das Expansionsverhalten der Graphitpartikel gezielt variieren läßt, indem einerseits eine Steigerung des Expansionsvolumens, der Expansionsgeschwindigkeit und des mittleren Expansionskoeffizienten und andererseits bei Verwendung von Kaliumpermanganat und Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel eine Verringerung dieser Eigenschaften verursacht wird.

35

## 1 BEISPIEL 5

Das folgende Beispiel verdeutlicht den Einfluß von verschiedenen Anionen und von Kationenmischungen in der Waschflüssigkeit, wobei die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Verbindungen jeweils mit einer Konzentration von 0,125 M eingesetzt worden sind. Die Eigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel sind in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengestellt.

10

**Tabelle 5**

	NaNO <sub>3</sub>	NaOAc	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /ZnSO <sub>4</sub>
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	175	254	328	313
T <sub>25</sub> in [°C]	200	247	239	256
T <sub>50</sub> in [°C]	274	274	256	283
T <sub>75</sub> in [°C]	320	313	289	322
T <sub>100</sub> in [°C]	406	379	379	391
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	28,62	17,50	30,97	34,56
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	0,26	-	-	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	7,03	-	-	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,046	0,094	0,117	0,118

15

20

25

Aus der obigen Tabelle läßt sich entnehmen, daß bei Verbindung von Natriumnitrat als die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindung eine Erniedrigung des Expansionsvolumens und des mittleren Expansionskoeffizienten erreicht werden kann bei gleichzeitiger Steigerung der Expansionsgeschwindigkeit im Vergleich zu dem lediglich mit Wasser gewaschenen Schwefelsäure-Graphit.

## 1 BEISPIEL 6

Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluß von aromatischen Sulfonaten in der Waschflüssigkeit, wobei die Sulfonate in einer Konzentration von jeweils  
5 0,125 M eingesetzt worden sind.

Die erhaltenen Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 6 zusammenge stellt.

10 Tabelle 6

	Natrium-Benzol-sulfonat	Naphthalin-sulfonsäure-natriumsalz	Naphthalin-1,5-disulfonsäure-dinatriumsalz	Naphthalin-trisulfosäure-trinatriumsalz
Expansionsvolumen bzgl. 15 Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	332	121	181	282
T <sub>25</sub> in [°C]	241	258	272	243
T <sub>50</sub> in [°C]	282	345	339	300
T <sub>75</sub> in [°C]	335	393	378	349
T <sub>100</sub> in [°C]	424	462	437	445
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 20 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,30	0,55	1,30	2,32
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,30	-	-	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	19,03	-	-	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 25 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,083	0,020	0,038	0,060

30 Aus der obigen Tabelle läßt sich ablesen, daß Naphthalinsulfosäure-natriumsalz, Naphthalin-1,5-disulfosäure-dinatriumsalz und Naphthalintrisulfosäure-trinatriumsalz dazu geeignet sind, einen niedrigeren mittleren Expansionskoeffizienten zu erreichen bei variierenden Expansionsvolumina und Expansionsgeschwindigkeiten.

**1 BEISPIEL 7**

Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluß der Natriumbenzolsulfonat-Konzentration in der Waschflüssigkeit auf die Expansionseigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel.

Hierzu werden 5,0 g (0,42 Mol) Graphitpartikel der gleichen Teilchengröße wie in den vorhergehenden Beispielen in einem 100 ml Rundkolben vorgelegt, mit 1,0 ml (0,01 Mol) 30%-igem Wasserstoffperoxid und 7,5 ml Schwefelsäure (95% bis 97%) versetzt und bei Raumtemperatur während 19 Stunden gerührt. Anschließend wird mit einer wässrigen Lösung von Natriumbenzolsulfonat in variierenden Konzentrationen von 0,001 M bis 0,125 M bis zu einem pH-Wert von 3 bis 4 gewaschen. Die anschließende Trocknung der Schwefelsäure-Graphitpartikel erfolgt bei 60°C im Trockenschrank.

15

Die Eigenschaften der erhaltenen Graphitpartikel sind in der nachfolgenden Tabelle 7 aufgeführt.

20

25

30

35

1

**Tabelle 7**

	Natrium-benzol-sulfonat (0,125 M)	Natrium-benzol-sulfonat (0,0625 M)	Natrium-benzol-sulfonat (0,025 M)	Natrium-benzol-sulfonat (0,0125 M)	Natrium-benzol-sulfonat (0,001 M)
5	Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	332	400	374	372
	T <sub>25</sub> in [°C]	241	252	253	239
	T <sub>50</sub> in [°C]	282	288	289	266
	T <sub>75</sub> in [°C]	335	338	330	295
	T <sub>100</sub> in [°C]	424	421	406	389
10	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,30	18,71	20,94	26,30
	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	1,30	-	-	-
15	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	19,03	-	-	-
	Mittlerer Expansionsko- effizient zwischen TMA- Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,083	0,114	0,117	0,123
					0,128

Der Tabelle 7 läßt sich entnehmen, daß sich mit Natriumbenzolsulfonat in einer Konzentration von 0,001 M bis 0,0625 M eine deutliche Steigerung des Expansionsvolumens, der Expansionsgeschwindigkeit und des mittleren Expansionskoeffizienten im Vergleich zu den lediglich mit Wasser gewaschenen Graphitpartikeln erreichen läßt. Bei Anwendung von Natriumbenzolsulfonat in einer Konzentration von 0,125 M ergeben sich die gleichen Eigenschaften, jedoch eine etwas niedrigere Expansionsgeschwindigkeit im Bereich des Onset.

Die obigen Angaben der Tabelle 7 zeigen, daß mit einer Konzentration von 0,0625 M das höchste Expansionsvolumen erzielt wird. Die Expansionsgeschwindigkeit und der mittlere Expansionskoeffizient nehmen ebenfalls mit steigender Natriumbenzolsulfonat-Konzentration ab. Weiterhin ist zu erkennen, daß das erzielbare Expansionsvolumen, die Expansionsgeschwindigkeit im Onset-Bereich und der mittlere Expansionskoeffizient sich mit zunehmender Kettenlänge verringern.

## 1 BEISPIEL 8

Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluß von aliphatischen und aromatischen Sulfonaten in einer Konzentration von 0,0625 M in der Waschflüssigkeit.

5

Zur Herstellung der Schwefelsäure-Graphitpartikel werden 5,0 g (0,42 Mol) Graphitpartikel der gleichen Teilchengröße wie in den vorhergehenden Beispielen in einen 100 ml Rundkolben vorgelegt, mit 1,0 ml (0,01 Mol) 30%igem Wasserstoffperoxid und 7,5 ml Schwefelsäure (95% bis 97%) versetzt und bei Raumtemperatur während 19 Stunden gerührt. Anschließend wird mit einer wässrigen Lösung der in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Sulfonate in einer Konzentration von 0,0625 M bis zu einem pH-Wert von 3 bis 4 gewaschen. Die anschließende Trocknung der Graphit-Intercalationsverbindungen erfolgt bei 60°C im Trockenschrank.

15

Die Eigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel sind in der nachfolgenden Tabelle 8 zusammengestellt.

**Tabelle 8**

20

	Natrium-1-butansulfonat	Natrium-1-decan-sulfonat	Natrium-dodecylbenzolsulfonat	Toluolsulfensäure-natriumsalz
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	434	502	269	378
T <sub>25</sub> in [°C]	238	239	232	248
T <sub>50</sub> in [°C]	265	271	274	294
T <sub>75</sub> in [°C]	306	312	328	333
T <sub>100</sub> in [°C]	387	401	415	412
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	36,47	26,29	4,56	15,00
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	2,12	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	10,21	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,146	0,149	0,058	0,107

1 Es läßt sich der obigen Tabelle entnehmen, daß sich mit den angegebenen Sulfonaten durchwegs eine Erhöhung des Expansionsvolumens, der Expansionsgeschwindigkeit und mit Ausnahme von Natrium-Dodecylbenzolsulfonat auch des mittleren Expansionskoeffizienten gegenüber dem lediglich mit Wasser gewaschenen Schwefelsäure-Graphit erreichen läßt.

5

### BEISPIEL 9

Dieses Beispiel verdeutlicht die Wirkung von kationischen Tensiden mit Ammonium-Kopf, die in einer Konzentration von  $1,0 \cdot 10^{-3}$  M in der Waschflüssigkeit eingesetzt werden.

Die folgende Tabelle 9 zeigt die Expansionseigenschaften der Schwefelsäure-Graphitpartikel, die unter Einsatz dieser Waschflüssigkeiten und der Anwendung der Verfahrensweisen der vorhergehenden Beispiele erhalten worden sind.

**Tabelle 9**

	Tetra-EA-Br	Decyl-TMA-Br	Dodecyl-TMA-Br	Tetradecyl-TMA-Br	Octadecyl-TMA-Cl
Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	321	312	321	304	300
T <sub>25</sub> in [°C]	257	233	241	238	244
T <sub>50</sub> in [°C]	288	253	266	270	275
T <sub>75</sub> in [°C]	325	288	302	308	318
T <sub>100</sub> in [°C]	382	368	373	384	380
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	19,15	1,18	26,74	1,53	26,42
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	1,18	-	1,53	-
Expansionsgeschwindigkeit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	27,44	-	17,91	-
Mittlerer Expansionskoeffizient zwischen TMA-Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,120	0,105	0,119	0,077	0,111

1 Der obigen Tabelle 9 läßt sich entnehmen, daß sich gegenüber den lediglich mit Wasser gewaschenen Schwefelsäure-Graphitpartikeln erfundungsgemäß eine deutliche Steigerung des Expansionsvolumens und des mittleren Expansionskoeffizienten erreichen läßt, während die Expansionsgeschwindigkeit in  
 5 Abhängigkeit von den eingesetzten kationischen Tensiden variiert werden kann.

**BEISPIEL 10**

10 Dieses Beispiel verdeutlicht den Einfluß der Verwendung von anionischen Tensiden mit Carbonsäure-Kopf als Verbindungen zur Beeinflussung des Expansionsverhaltens. Diese anionischen Tenside werden in einer Konzentration von 0,125 M eingesetzt.

15

**Tabelle 10**

	Natrium-acetat 0,125 M	Natrium-propionat 0,125 M	Natrium-caprylat 0,125 M	Natrium-stearat $1,6 \cdot 10^{-3}$ M	Natrium-oleat $8,0 \cdot 10^{-4}$ M	Natrium-benzoat 0,0625 M	
20	Expansionsvolumen bzgl. Einwaage in [% · mg <sup>-1</sup> ]	254	308	179	375	326	383
	T <sub>25</sub> in [°C]	247	245	354	230	236	249
	T <sub>50</sub> in [°C]	274	278	384	257	261	291
	T <sub>75</sub> in [°C]	313	323	407	297	294	338
	T <sub>100</sub> in [°C]	379	402	459	379	370	443
25	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 1 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	17,50	17,94	1,71	6,71	26,97	15,35
	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 1 und 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	-	6,71	-	-
	Expansionsgeschwindig- keit im Bereich Onset 2 in [% · °C <sup>-1</sup> ]	-	-	-	21,74	-	-
30	Mittlerer Expansionsko- effizient zwischen TMA- Onset 1 und T <sub>100</sub> in [K <sup>-1</sup> ]	0,094	0,095	0,049	0,113	0,120	0,093

Auch diese Tabelle verdeutlicht, daß das Expansionsverhalten der Schwefel-  
 35 säure-Graphitpartikel gezielt durch den Einsatz der verwendeten anionischen Tenside in der Waschflüssigkeit gesteuert werden kann.

1 Die obigen Beispiele lassen erkennen, daß es mit Hilfe des erfindungsgemäß  
5 Verfahrens ohne weiteres möglich ist, durch Variation der in der verwen-  
deten Waschflüssigkeit eingesetzten, die Expansionseigenschaften beeinflus-  
senden Verbindungen beziehungsweise deren Konzentration die Expansions-  
eigenschaften der erhaltenen Schwefelsäure-Graphitpartikel in gewünschter  
Weise zu variieren und damit in Hinblick auf den Einsatz als intumeszierendes  
Brandschutzadditiv für die Herstellung von Flammenschutz-Zusammenset-  
zungen zu optimieren.

10



15

20



25

30

35

1

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln, **dadurch gekennzeichnet**, daß man die durch Umsetzung von Graphitpartikeln mit Schwefelsäure in Gegenwart eines Oxidationsmittels hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel mit einer die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindungen enthaltenden wässrigen Waschflüssigkeit bis zu einem pH-Wert im Bereich von 2 bis 8, vorzugsweise 3 bis 7, gemessen in der von den gewaschenen Schwefelsäure-Graphitpartikeln abgetrennten Waschflüssigkeit, wäscht und dann trocknet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als die Expansionseigenschaften der Schwefelsäure-Graphitpartikel beeinflussende Verbindung mindestens einen Vertreter der Sulfate, Hydrogensulfate, Sulfite, Hydrogensulfite, Nitrate, Phosphate, Hydrogenphosphate, Dihydrogenphosphate und Acetate von Natrium, Kalium, Magnesium, Mangan, Eisen, Kupfer, Zink und Aluminium; Wasserstoffperoxid, Iodsäure, Bromsäure, Permangansäure, Perchlorsäure und Peroxodischwefelsäure; Peroxide, Iodate, Bromate, Permanganate, Perchlorate und Peroxodisulfate von Natrium und Kalium; Natriumsalze von Benzolsulfonsäure, Benzol-1,3-disulfonsäure, C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylbenzolsulfonsäuren, Naphthalinsulfonsäure, aromatischen und aliphatischen Aminosulfonsäuren und C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylsulfonsäuren; Natrium-C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-alkylsulfate; Natriumsalze von gesättigten oder ungesättigten, aliphatischen C<sub>2</sub>-C<sub>30</sub>-Carbonsäuren; und gesättigte oder ungesättigte, aliphatische, quartäre Ammoniumsalze der Formel N(R)<sub>4</sub><sup>+</sup> X<sup>-</sup>, in der R unabhängig voneinander C<sub>1</sub>-C<sub>30</sub>-Alkylgruppen und X<sup>-</sup> ein Anion bedeuten, umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit die die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindung in einer Konzentration von 10<sup>-5</sup> bis 10 Mol/l, vorzugsweise 10<sup>-4</sup> bis 1 Mol/l enthält
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als das Expansionsvolumen [%•mg<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erhöhende Verbindung mindesten einen Vertreter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,

1      K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, NaBrO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COONa, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, Natrium-1-butansulfonat, Natrium-1-decansulfonat, Natrium-dodecylbenzolsulfonat, Toluolsulfonsäure-Natriumsalz, Tetraethylammoniumbromid, Decyl-trimethylammoniumbromid, Dodecyl-trimethylammoniumbromid, Tetradecyl-trimethylammoniumbromid, Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natriumacetat, Natriumpropionat, Natriumstearat, Natriumoleat und Natriumbenzoat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

5

10     5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als die Expansionsgeschwindigkeit [%•°C<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel im Bereich Onset erhöhende Verbindung mindesten einen Vertreter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, KMnO<sub>4</sub>, NaBrO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat in einer Konzentration von weniger als 0,0125 Mol/l, Natrium-1-butansulfonat, Natrium-1-decansulfonat, Natrium-dodecylbenzolsulfonat, Toluolsulfonsäure-Natriumsalz, Tetraethylammoniumbromid, Dodecyl-trimethylammoniumbromid, Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natriumacetat, Natriumpropionat, Natriumstearat, Natriumoleat und Natriumbenzoat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

15

20

25     6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als den mittleren Expansionskoeffizienten [K<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erhöhende Verbindung mindesten einen Vertreter der Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MnSO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, NaBrO<sub>3</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, Natriumbenzolsulfonat, Natrium-1-butansulfonat, Natrium-1-decansulfonat, Toluolsulfonsäure-Natriumsalz, Tetraethylammoniumbromid, Decyl-trimethylammoniumbromid, Dodecyl-trimethylammoniumbromid, Tetradecyl-triethylammoniumbromid, Octadecyl-trimethylammoniumchlorid, Natriumacetat, Natriumpropionat, Natriumstearat, Natriumoleat und Natriumbenzoat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

30

35     7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als das Expansionsvolumen [%•mg<sup>-1</sup>] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der MnSO<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz,

1 Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz und Natriumcaprylat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als die Expansionsgeschwindigkeit [ $\% \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$ ] der Schwefelsäure-Graphitpartikel im Bereich Onset erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der  $\text{FeSO}_4$ , Natriumbenzolsulfonat in einer Konzentration von  $\geq 0,0125$  Mol/l, Decyl-trimethylammoniumbromid, Tetradecyl-trimethylammoniumbromid, Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz, Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, und Natriumcaprylat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Waschflüssigkeit als den mittleren Expansionskoeffizienten [ $\text{K}^{-1}$ ] der Schwefelsäure-Graphitpartikel erniedrigende Verbindung mindesten einen Vertreter der  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ , Naphthalinsulfonsäure-Natriumsalz, Naphthalin-1,5-disulfonsäure-Dinatriumsalz, Naphthalintrisulfonsäure-Trinatriumsalz, Natrium-dodecylbenzolsulfonat und Natriumcaprylat umfassenden Gruppe in gelöster oder dispergierter Form enthält.

10. Verwendung der nach den Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 9 erhältlichen, thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikel als intumeszierendes Brandschutzadditiv für die Herstellung von Flammenschutz-Zusammensetzungen insbesondere für Brandschutz-Abdichtungen von Durchbrüchen, Durchführungen und sonstigen Öffnungen in Wänden, Böden und/oder Decken von Gebäuden.

1

**Zusammenfassung****Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln und deren Verwendung**

5

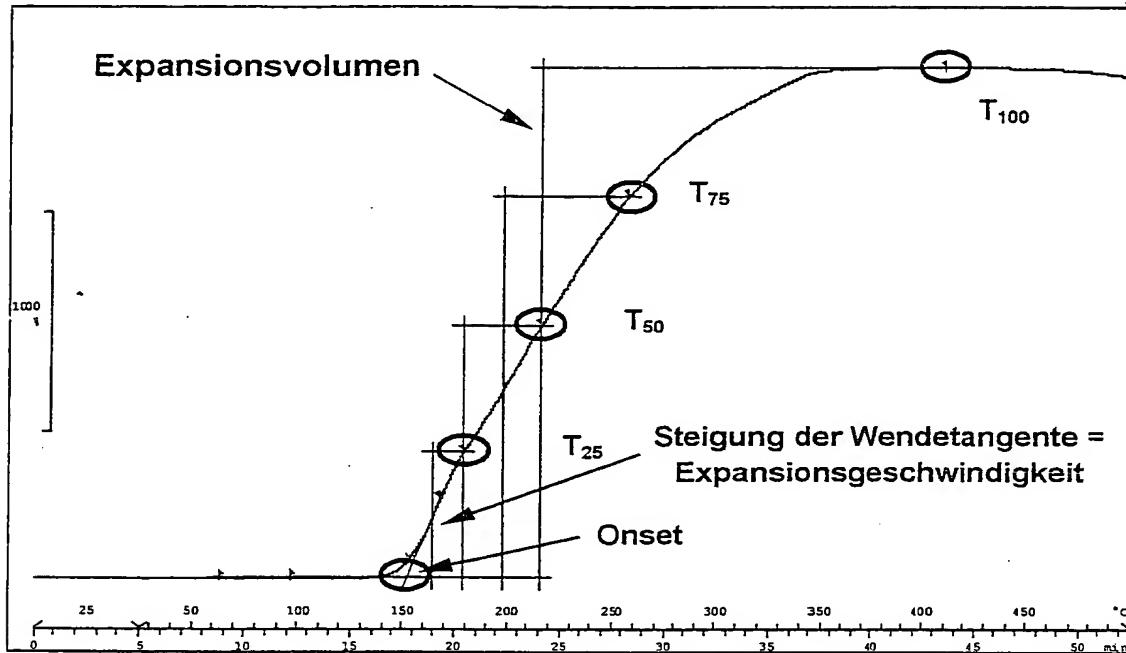
Beschrieben werden ein Verfahren zur Steuerung der Expansionseigenschaften von thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikeln, welches darin besteht, daß man die durch Umsetzung von Graphitpartikeln mit Schwefelsäure in Gegenwart eines Oxidationsmittels hergestellten Schwefelsäure-Graphitpartikel mit einer die Expansionseigenschaften beeinflussende Verbindungen enthaltenden wässrigen Waschflüssigkeit bis zu einem pH-Wert im Bereich von 2 bis 8, vorzugsweise 3 bis 7, gemessen in der von den gewaschenen Schwefelsäure-Graphitpartikeln abgetrennten Waschflüssigkeit, wäscht und dann trocknet, sowie die Verwendung der in dieser Weise erhältlichen, thermisch expandierbaren Schwefelsäure-Graphitpartikel als intumescierendes Brandschutzadditiv für die Herstellung von Flammenschutz-Zusammensetzungen insbesondere für Brandschutz-Abdichtungen von Durchbrüchen, Durchführungen und sonstigen Öffnungen in Wänden, Böden und/oder Decken von Gebäuden.

20

25

30

35



**Figur 1:**  
TMA-Kurve einer Schwefelsäure-Graphitintercalationsverbindung